



Materialforschung für Deutschland.

**Deutschland braucht Innovationen.
Innovationen brauchen Materialforschung.**

Unser Fokus

Technologische Innovationen fußen auf einer leistungsstarken Materialforschung entlang industrieller Wertschöpfungsketten. Dies betrifft die Entwicklung neuer Materialien ebenso wie die Verbesserung und Anpassung bestehender Materialien, verbunden mit entsprechenden Be- und Verarbeitungstechnologien bis hin zu Produktionstechnologien für die spezifischen Anforderungen der Industrie. Klimawandel, Rohstoffknappheit und Energiewende sind ohne kontinuierliche Materialinnovationen nicht zu bewältigen. Deutschland benötigt mehr marktfähige Lösungen für globale Herausforderungen und mehr wettbewerbsfähige technologische Innovationen.

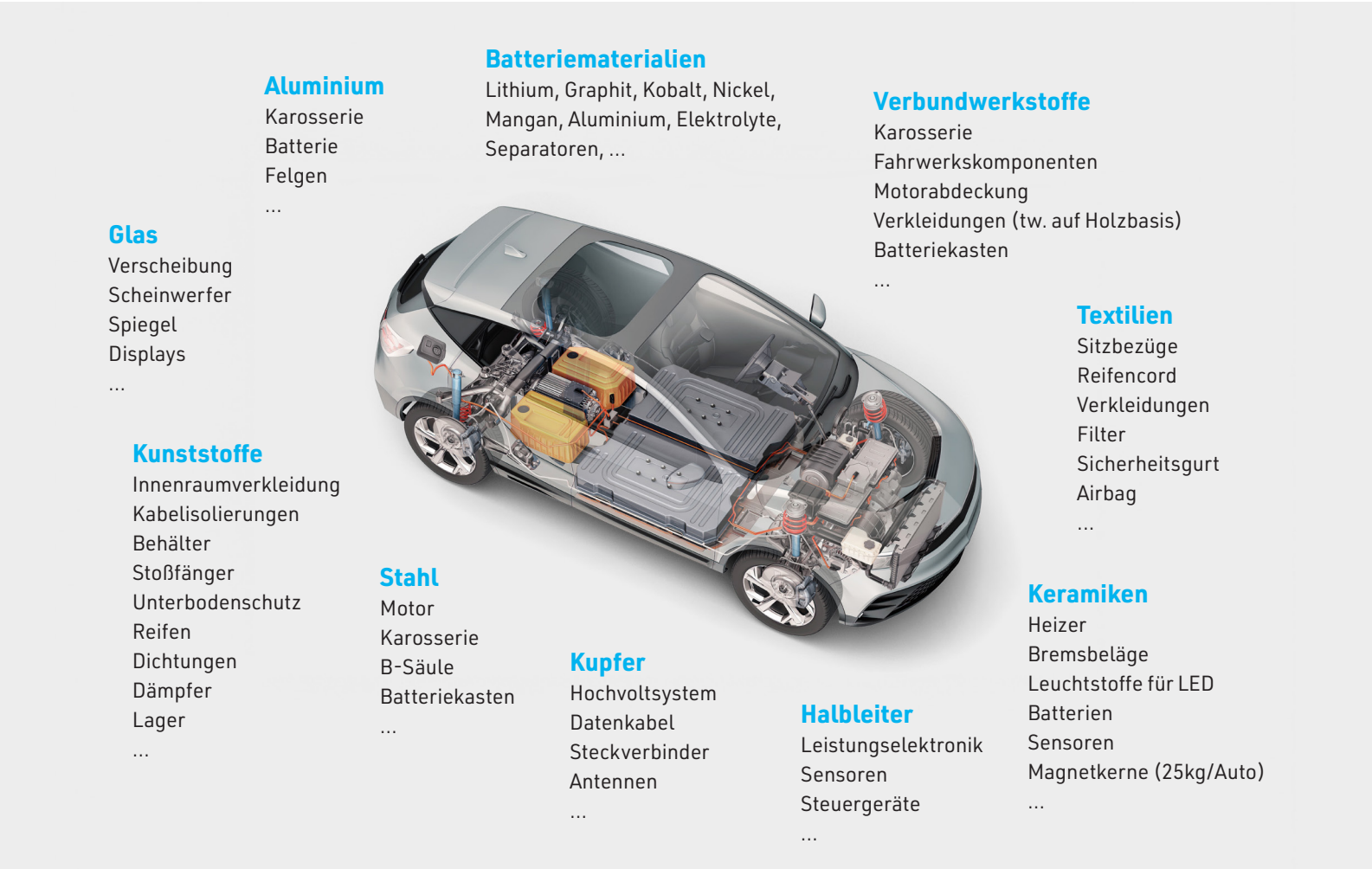
Daher fordert die BV MatWerk eine deutlich stärkere Verankerung der Materialforschung auf der politischen Agenda einhergehend mit einer Erhöhung der Fördermittel und einer Verbesserung der MINT-Bildung an Schulen.

Motivation

In hoch entwickelten Industriegesellschaften nutzen die Menschen technische Errungenschaften in allen Lebensbereichen mit großer Selbstverständlichkeit. Erwartet werden Produkte mit exzellenten Gebrauchseigenschaften, einwandfreier Funktionalität, hoher Zuverlässigkeit und Sicherheit sowie technische Geräte, Anlagen und Werkzeuge mit einer langen, möglichst störungsfreien Lebensdauer bei geringstmöglichen Kosten.

Selten wahrgenommene, jedoch notwendige Voraussetzungen dafür sind leistungsfähige Materialien und Werkstoffe: Strukturwerkstoffe wie Beton und Stahl bilden das Grundgerüst der Infrastruktur, von Gebäuden und Brücken bis hin zu Einrichtungen der Energieerzeugung. Funktionsmaterialien sind ele-

mentare Bestandteile von Solarzellen, Smartphones, Katalysatoren, Batterien, Outdoortextilien und vielen weiteren Produkten. Die Luft- und Raumfahrt ist auf leichte und gleichzeitig widerstandsfähige Werkstoffe angewiesen. Biokompatible Werkstoffe sind elementar für Implantate, leichte und gleichzeitig hochfeste Verbundwerkstoffe tragen zur Effizienz von Windkraftanlagen bei, ebenso Permanentmagnete, die auch für die Elektromobilität entscheidend sind. In modernen Produkten werden in der Regel zahlreiche unterschiedliche Materialien kombiniert, um die Zieleigenschaften bestmöglich zu erreichen. Sehr deutlich ist etwa die Automobilindustrie auf die Verfügbarkeit einer hohen Vielfalt leistungsfähiger Hightechmaterialien angewiesen (s. Abbildung). Gleiches gilt aber für annähernd alle Industriezweige.



Materialvielfalt im E-Auto (exemplarisch): von der Batterie bis zur Karosserie.

Die Materialforschung in Deutschland wird insbesondere vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF (jetzt BMFTR) mit entsprechenden Rahmenprogrammen gefördert, punktuell auch durch weitere Bundes- und Landesministerien. Die aktuell noch vorhandene Stärke der Materialforschung in Deutschland ist in hohem Maße auf diese Förderung zurückzuführen.

Um im internationalen Wettbewerb ökonomischen, ökologischen, geopolitischen und zunehmend auch sicherheitspolitischen Herausforderungen begegnen zu können, muss diese Stärke zwingend aufrechterhalten und ausgebaut werden. Wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit und Technologische Souveränität brauchen zwingend auch eine kontinuierliche Materialforschung.

Am 2. April 2025 stellte das BMBF (jetzt BMFTR) die Neuauflage seines Materialforschungsprogramms „Materialinnovationen für die Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft (Mat2Twin)“ im Rahmen der Konferenz „MatFo2025“ vor. Mit dem vorliegenden Positionspapier will die BV MatWerk die Bedeutung von langfristigen und breit angelegten Materialforschungsprogrammen wie „Mat2Twin“ für den Wirtschaftsstandort Deutschland unterstreichen und die Notwendigkeit aufzeigen, solche Programme mit adäquaten finanziellen Mitteln auszustatten.

Forschungs- und Entwicklungsfelder

Besondere Hebelwirkungen für die Steigerung der technologischen Souveränität und für die Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft haben aus Sicht der BV MatWerk die folgenden FuE-Bereiche.

Materialentwicklung

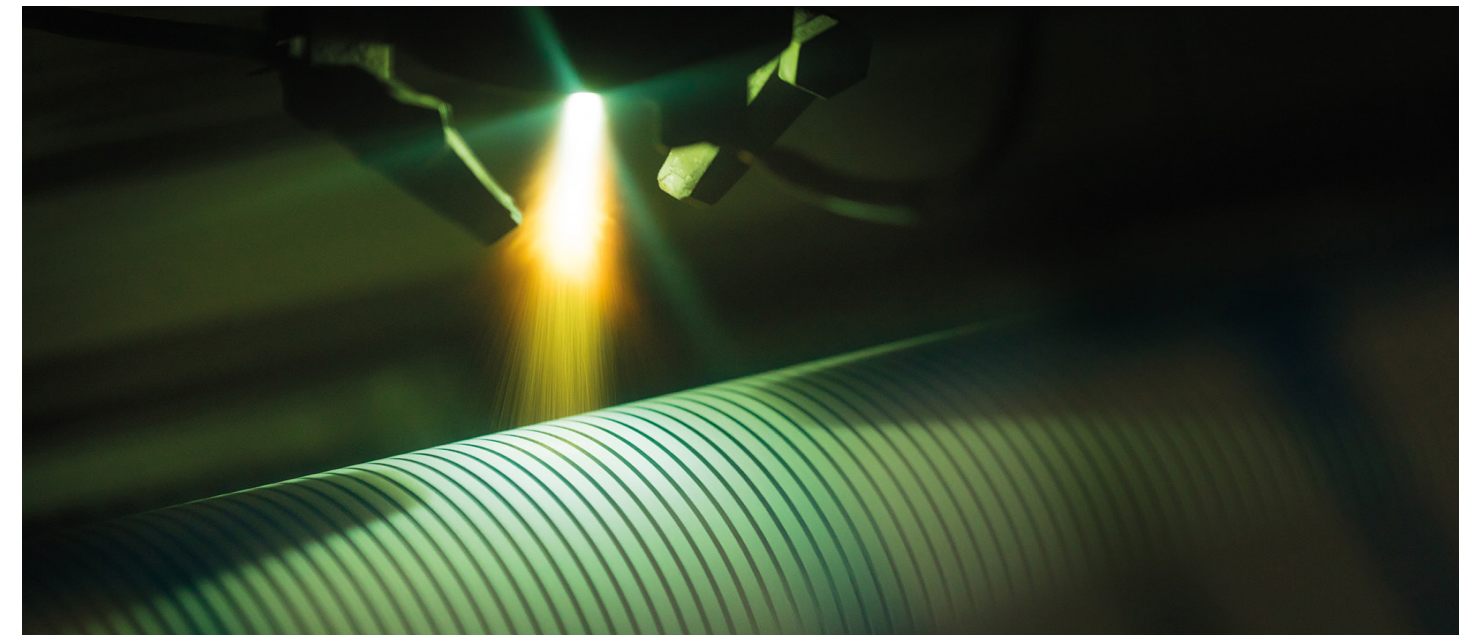
In der Vielfalt verfügbarer Materialien liegt ein entscheidendes Innovationspotenzial. Um es zu nutzen, muss auch die Forschungsförderung grundsätzlich die gesamte Breite der Materialoptionen im Blick haben. „Materialentwicklung“ muss hierbei ganzheitlich, also von grundlegender akademischer Forschung über prototypische bis hin zu fertigungs- und produktionsrelevanter Entwicklung verstanden werden. Um die oftmals langwierige Implementierung vielversprechender Materialentwicklungen in die industrielle Praxis zu beschleunigen, braucht es passende Transferplattformen für Prototyping bzw. für Manufacturing.

Die Energiewende ist auf maßgeschneiderte, leistungsstarke Materialsysteme etwa für Windkraftanlagen, Solarzellen, Brennstoffzellen, Batterien oder auch für die Leistungselektronik zur Umstellung der Energienetze von zentralen auf dezentrale Erzeuger und die verlustarme Schaltung der elektrischen Leistung angewiesen. Diese Technologien sind für eine stabile, nachhaltige und souveräne Energieversorgung ebenso von Bedeutung wie für die konsequente Reduzierung von CO₂-Emissionen.

In analoger Weise steigt der Bedarf an fortschrittlichen, maßgeschneiderten Materialien in zahlreichen weiteren Bereichen kontinuierlich: In maritimen Anwendungen etwa ist die Korrosionsbeständigkeit von Materialien unerlässlich, um die Sicherheit von Infra-

strukturen und Geräten zu gewährleisten. Im Bauwesen ist neben thermischer Isolation, Ressourceneffizienz und der Verwendung umweltfreundlicher Materialien auch die Entwicklung nachhaltiger und langlebiger Baustoffe von großer Bedeutung. In der Medizintechnik sind Biokompatibilität und Festigkeiten von Implantaten entscheidend für die Patienten. Auch für wehrtechnische Anwendungen hat Materialforschung eine hohe Bedeutung (z. B. Materialien für Schutzausrüstung; leichte, hochfeste Materialien für Militärfahrzeuge oder besonders robuste Sensoren und Elektronik für die Kommunikationstechnik).

Unabhängig vom Anwendungsgebiet gilt es, die wachsenden Anforderungen an die Kreislauffähigkeit von Materialien und Produkten zu erfüllen. Materialien sollen entweder in geschlossenen Stoffkreisläufen verbleiben oder in andere Stoffkreisläufe eingespeist werden können (intersektorales Recycling). Dies erfordert parallel zur Entwicklung innovativer Recyclingverfahren entsprechende Ansätze bereits in der Materialentwicklung (Design for Circularity).



Thermisch gespritzte Erosionsschutzschichten für Wickeldrahtfilter, beispielsweise für Geothermie-Anwendungen (Fraunhofer IKTS).

Materialeffizienz

Ressourcenverknappung, geopolitische Herausforderungen und Klimawandel zwingen dazu, Material und Energie effizienter zu nutzen. Materialeffizienz ist ein entscheidender Faktor, um die Wettbewerbsfähigkeit insbesondere des produzierenden Gewerbes zu sichern und gleichzeitig ökologische Fußabdrücke zu minimieren. Sie kann bereits ganz zu Beginn der Wertschöpfung durch intelligente Leichtbaukonzepte, Design for Circularity und Nutzung von Sekundärrohstoffen maßgeblich gesteigert werden.

Durch den Einsatz leichter, leistungsstarker Materialien in Kombination mit entsprechenden Design- und Fertigungskonzepten können Produkte nicht nur ressourcenschonender hergestellt werden, sondern verbrauchen auch während ihrer Nutzung weniger Energie und verursachen weniger Treibhausgas (THG)-Emissionen. Dies ist besonders im Mobilitätssektor von Bedeutung. Aber auch im Bauwesen kann der Rohstoffeinsatz durch Leichtbaukonzepte signifikant reduziert werden: Neuartige Materialzusammensetzungen (z. B. Polymerbetone oder

Carbonbeton) ermöglichen eine hohe Tragfähigkeit bei geringem Eigengewicht und fördern langfristig die Dekarbonisierung.

Hybride Materialsysteme verbinden positive Eigenschaften mehrerer Materialklassen und können das Klima entscheidend entlasten; sie weisen aber derzeit oftmals noch eine geringere Kreislauffähigkeit auf. Erfolgreiche Forschungs- und Transferprogramme, wie das „Technologietransfer-Programm Leichtbau und Materialeffizienz“ (TTP LM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz BMWK (jetzt BMWF), haben diesbezüglich zahlreiche vielversprechende Lösungsansätze hervorgebracht und sollten unbedingt fortgeführt bzw. ausgebaut werden. Nachhaltige Leichtbauweisen haben durch ihr breites, branchenübergreifendes Einsatzpotenzial gleichzeitig eine große Hebelwirkung für Wettbewerbsfähigkeit und Transformation der Industrie sowie für den Klimaschutz.

(Rohstoff-) Substitution

Der Bedarf der deutschen und europäischen Wirtschaft an seltenen und kritischen Rohstoffen (Critical Raw Materials, CRM) wird in den kommenden Jahren erheblich zunehmen; die Versorgungssicherheit ist jedoch aufgrund begrenzter Verfügbarkeit und geopolitischer Verschiebungen gefährdet, Lieferketten sind störanfällig geworden. Bei inländisch verfügbaren mineralischen Rohstoffen wie Gips und Kies sind es Landnutzungskonflikte, welche die Versorgungssicherheit der Industrie mit Geomaterialien gefährden. Die Notwendigkeit einer robusten Rohstoffversorgung ist offensichtlich.

Forschung und Entwicklung müssen darauf abzielen, zum einen, wo vorhanden, inländische bzw. europäische Rohstofflagerstätten unter Beachtung ökologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Wechselwirkungen effizient zu erschließen und zu nutzen, zum anderen aber auch darauf, alternative Materialien gleicher Funktionalität zu entwickeln, um die Abhängigkeit von den kritischen Ressourcen zu reduzieren.

Unter Umwelt- und Gesundheitsaspekten kritische Substanzen müssen so weit wie möglich durch un-

bedenkliche Alternativen ersetzt werden. Ein Beispiel sind per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS), die in zahlreichen technischen wie alltäglichen Produkten verwendet werden und deren Funktionalität bestimmen. Für viele Anwendungen fehlen heute noch die Alternativen dazu. Die Entwicklung von leistungsstarken, nachhaltigen und gesundheitlich unbedenklichen Materialien ist somit von zentraler Bedeutung für zahlreiche Wirtschaftszweige.

Auch hohe chemische Diversität in Produkten schafft große Abhängigkeiten von weltweiten Lieferketten und behindert die Kreislauffähigkeit der Produkte. Ein Beispiel ist das Smartphone, das aus bis zu 70 chemischen Elementen bestehen kann. Die belebte Natur hingegen erreicht alle Funktionen der Lebewesen mit maximal 28 Elementen und setzt dafür stark auf individuell optimierte, mikro- und nanostrukturierte Oberflächen. Materialforschung zu bioinspirierten Konzepten ist daher von hoher Relevanz, um die chemische Diversität zu reduzieren und leistet einen wichtigen Beitrag, um nachhaltiger, kreislauffähiger und weniger abhängig von weltweiten Lieferketten zu werden.

Kreislauffähigkeit

Die Circular Economy ist ein Schlüssel zur Schaffung eines Wirtschaftssystems, das Ressourcen schont, Abfall minimiert, unvermeidbaren Abfall stofflich oder energetisch verwertet und eine umweltfreundlichere Zukunft für kommende Generationen sichert.

Durch die Implementierung des „Design for Circularity“ in den Produktentwicklungsprozess, in Ausprägungen wie etwa „Design for Repair“, „Design for Reuse“ oder „Design for Recycling“, können Produkte länger genutzt, besser instandgehalten und leichter recy-

celt werden. Effektive und effiziente Wiederverwertungsstrategien (R-Strategien) benötigen jedoch die „richtigen“ Materialkonzepte und in vielen Fällen neue Technologien: Es braucht daher neben der Entwicklung grundsätzlich kreislauffähiger Materialien auch Methoden und Konzepte zur Bewertung der sicheren und zuverlässigen Recyclingfähigkeit und Wiederverwendbarkeit von Produkten, Bauteilen und Materialien. Mit Blick auf die Nutzungsphase sind Verbesserung der Betriebsfestigkeit und Erhöhung der Lebensdauer von Materialien wichtige Beiträge zur Nachhaltigkeit.

Daneben sind die Entwicklung neuer und die Optimierung bestehender Recyclingtechnologien für den Erfolg einer Circular Economy entscheidend. Die sensorbasierte Sortierung und Stoffstromüberwachung insbesondere von Kunststoffen zeigt

eindrucksvoll die Bedeutung der Materialforschung für die Kreislaufwirtschaft: Sensorsignale können auf spezifische Materialeigenschaften zurückgeführt werden und damit ein „Design for Sortability“ ermöglichen.

Digitalisierung und Künstliche Intelligenz

Digitale Materialinformationen werden für das produzierende Gewerbe zunehmend wettbewerbsentscheidend. Die konsequente Digitalisierung ermöglicht eine beschleunigte Entwicklung neuer Materialien mit definierten Zieleigenschaften und eine schnellere Überführung in Produkte. Digitale Materialzwillinge, die skalenübergreifende Materialinformationen physischer Objekte inklusive der von ihnen durchlaufenen Be- und Verarbeitungsprozesse und ggf. auch der Veränderungen in der Nutzungsphase enthalten, eröffnen neue Perspektiven für das produzierende Gewerbe. Durch sie wird Industrie 4.0 erheblich effizienter, sie sind Teil des Industrial Metaverse, welches zum Austausch von Informationen über Unternehmensgrenzen hinweg dient. FAIR-Prinzipien (FAIR: Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) stellen dabei einen wichtigen Erfolgsfaktor dar. Weiterhin ist es entscheidend, dass die Anschlussfähigkeit an bereits existierende Industrieplattformen wie etwa Gaia-X gelingt.

Der Einsatz Künstlicher Intelligenz (KI) in der Materialforschung kann durch bessere Vorhersagemöglichkeiten die Materialoptimierung weiter beschleunigen und so dazu beitragen, Entwicklungskosten weiter zu reduzieren. KI kann dabei helfen, Muster in großen Datenmengen zu erfassen und schneller Antworten auf spezifische material-, werkstoff- und produktionsbezogene Fragestellungen zu liefern.

Die umfassende Digitalisierung ist zugleich notwendige Voraussetzung für eine zirkuläre Wirtschaft. Ein effektiver Digitaler Produktpass muss zwingend auch Daten über Herkunft, Zusammensetzung, Verarbeitung und Nutzung der im Produkt vorhandenen Materialien beinhalten, um die Nachverfolgbarkeit in der Lieferkette sowie die Identifikation in kreislaufwirtschaftlichen Systemen und Anlagen zu ermöglichen.



Öffentlichkeitsarbeit und Wissenschaftskommunikation

Parallel zum Transfer von FuE-Erfolgen in die industrielle Praxis und in gesellschaftlichen Nutzen müssen diese auch in das Bewusstsein der Gesellschaft transferiert werden. Die öffentliche Wahrnehmung ist hinsichtlich der hohen Relevanz der Materialforschung für die moderne Gesellschaft aktuell nur schwach ausgeprägt.

Eine positive Konnotation der Materialforschung, insbesondere bei den jungen Generationen, ist eine wesentliche Voraussetzung, um dem bereits heute schon gravierenden Mangel an wissenschaftlichem Nachwuchs und Fachkräftenachwuchs für Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in fast allen Teildisziplinen begegnen zu können. Eine adäquate Wissenschaftskommunikation, die Übersetzung

von komplexen Inhalten in eine Alltagssprache und eine niederschwellige Vermittlung an interessierte Bevölkerungsschichten, insbesondere an potenzielle Nachwuchskräfte, sollte eigenständig gefördert werden.

Die BV MatWerk regt ein Wissenschaftsjahr (Wissenschaft im Dialog) der Materialforschung an. Dies könnte das Bewusstsein für die Relevanz von Materialwissenschaft und Werkstofftechnik für die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands und Europas, für die Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen (SDGs) und nicht zuletzt für das tägliche Leben eines jeden Einzelnen in der öffentlichen Wahrnehmung stärken und gleichzeitig potenzielle Nachwuchskräfte inspirieren.



Hartschäume aus expandiertem Polystyrol (EPS) für die Gebäudedämmung.



Materialforschung ist gleichzeitig Enabler und Anwendungsfeld für das Quantencomputing.

Human Resources, Nachwuchskräfte

Das Abschneiden deutscher Schülerinnen und Schüler bei der jüngsten Pisa-Studie 2024 ist besorgniserregend. Das Leistungs- und Bildungsniveau hat sich auch in den MINT-Fächern gegenüber der letzten Studie weiter verschlechtert. Die Zahlen der Studienanfängerinnen und Studienanfänger in Natur- und Ingenieurwissenschaften, insbesondere in Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, sind rückläufig.

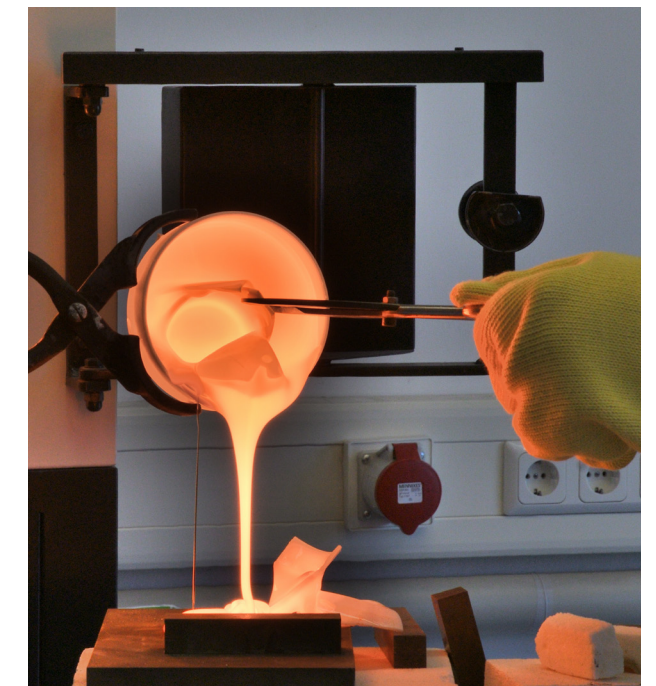
Die MINT-Bildung in den Schulen muss daher - beginnend mit den unteren Jahrgangsstufen - in allen Schultypen dringend verbessert werden, naturwissenschaftlich-technische Grundlagen müssen stärker und besser vermittelt werden. Die BV MatWerk empfiehlt, „Materialwissenschaft und Werkstofftechnik“ explizit in den Unterricht einzuführen, sodass

Schülerinnen und Schüler eine Chance erhalten, dieses Feld als Option für die spätere Berufswahl wahrzunehmen.

Ergänzend sollten gezielte Kommunikationsmaßnahmen entwickelt und gefördert werden, um bei jungen Menschen Interesse an entsprechenden Berufsfeldern wecken zu können. Entsprechende Kampagnen unter Einbindung von „role models“ können helfen.



Erneuerbare Energie wird erst nutzbar durch Materialinnovationen.



Glasschmelze im Technikum (Hüttentechnische Vereinigung der Deutschen Glasindustrie HVG).

Positionen und Empfehlungen

1 Starke Materialwissenschaft und Werkstofftechnik ist die Basis unserer Industrie und notwendige Voraussetzung für die technologische Souveränität Deutschlands und Europas. Daher muss das Thema **Materialforschung konsequenter als bisher auf politischen Agenden** verankert werden.

2 Damit deutsche Materialforschung im internationalen Wettbewerb den Anschluss behält, müssen bestehende, **erfolgreiche Förderprogramme weiter fortgeschrieben bzw. wieder aufgesetzt und finanziell angemessen ausgestattet** werden:

- Im Materialforschungsprogramm **Mat2Twin des BMBF** (jetzt BMFTR) müssen ergänzend zu den für die Batterieforschung allokierten Mitteln mindestens **120 Mio. € p.a.** für weitere Materialforschungsthemen bereitgestellt werden.
- Im grundlagennahen Bereich muss die Kürzung der Mittel bei der DFG und damit der **Einreichungsstopp für Schwerpunktprogramme (SPPs) zurückgenommen** werden.
- Im anwendungsnahen Bereich muss das **„Technologietransferprogramm Leichtbau und Materialeffizienz“ (TTP LM) des BMWK (jetzt BMWF)** wieder aufgenommen werden.

3 Nationale Förderprogramme im Bereich der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik müssen in ihrer Gesamtheit aufeinander abgestimmt sein und die gesamte **Bandbreite der Materialien** adressieren. Anschlussfähigkeit zu europäischen Förderprogrammen muss sichergestellt sein.

4 Um den Technologietransfer bis zur Industrialisierung im Sinne höherer Wettbewerbsfähigkeit durchgängig und effizient zu organisieren, ist förderpolitisch eine **enge, ressortübergreifende Abstimmung** erforderlich. Der materialorientierte Forschungsansatz muss in den **direkten Anschluss zu einer produkt- bzw. marktorientierten Sichtweise** gebracht werden.

5 Damit die Beteiligung an Verbundvorhaben i. B. für Unternehmen wieder attraktiver wird, muss die **administrative Handhabung öffentlich geförderter Forschungsvorhaben dringend vereinfacht** werden. Ein größerer Anteil der Fördergelder muss tatsächlich für Forschung und Entwicklung (statt für Controlling und Administration) eingesetzt werden können.

6 Bei der Ausstattung bzw. Weiterentwicklung von **großen Forschungsinfrastrukturen** (z. B. High-Performance Computing, Synchrotron-Strahlungsquellen etc.) müssen die Bedarfe der Materialforschung stärker berücksichtigt werden, insbesondere sollte die **Partizipation der anwendungsnahen Forschung erleichtert** werden.

7 **Standardisierungsprozesse** für dringend erforderliche neue Materialien und Werkstoffe, beispielsweise im Baubereich, müssen aktiv vorangetrieben werden. **Zulassungsverfahren** für neue Materialien müssen – ohne Abstriche bei Sicherheit, Funktionalität oder Umweltverträglichkeit – auf administrativer Ebene vereinfacht und beschleunigt werden.

8 **Die MINT-Bildung** muss in allen Schulformen verbessert, die Stundenzahl für Physik- Chemie-, Mathematik- und modernen Werkunterricht erhöht werden. Materialwissenschaftliche Aspekte sollten dabei explizit in den Unterricht einfließen.

9 Um mehr technische Fachkräfte zu gewinnen, muss die **duale Ausbildung** im Bereich von Materialwissenschaft und Werkstofftechnik für junge Menschen attraktiver werden. Ihre Verdienstmöglichkeiten müssen auch im öffentlichen Dienst verbessert werden.

10 Zur Verbesserung der öffentlichen Wahrnehmung für die Relevanz der Materialforschung müssen entsprechende Maßnahmen, wie etwa Bürgerformate, ein **„Wissenschaftsjahr der Materialforschung“** und Imagekampagnen von der öffentlichen Hand eingeleitet und gefördert werden.

Über die BV MatWerk

Die Bundesvereinigung Materialwissenschaft und Werkstofftechnik e.V. (BV MatWerk) versteht sich als Schnittstelle zwischen Wissenschaft, Verbänden und Politik. Sie setzt sich für den kontinuierlichen und effektiven Dialog unter den Stakeholdern ein. Ziel der BV MatWerk ist es, die Kooperation zwischen

den verschiedenen Organisationen zu stärken, deren Interessen zusammenzuführen und zu vertreten. Sie unterstützt die Öffentlichkeitsarbeit für Materialwissenschaft und Werkstofftechnik und Maßnahmen zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses.



Deutsche Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung e. V.



Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V.



Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V.



DEUTSCHE KAUSCHUK-GESELLSCHAFT E.V.



Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V.



Forschungsinstitut für Glas | Keramik GmbH



Fachverband Pulvermetallurgie e.V. (FPM)



GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER



Service und Forschung für die Glasherstellung



Kupferverband e.V.



Geschäftsstelle der Bundesvereinigung Materialwissenschaft und Werkstofftechnik e.V.

Im Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, Abt. Struktur und Dynamik von Energiematerialien

Generalsekretärin:
Prof. Dr. Susan Schorr
Hahn-Meitner-Platz 1
14109 Berlin
Telefon: 030 8062 42317
info@bvmatwerk.de
www.bvmatwerk.de

Vorstandsvorsitzende:
Dr. Ursula Eul,
Fraunhofer-Verbund MATERIALS
ursula.eul@materials.fraunhofer.de

Stellvertretender Vorsitzender:
Dipl.-Ing. Wolfgang Heidrich,
Aluminium Deutschland e.V.

Bildnachweise:
Titelseite:

(von oben nach unten, jeweils von links nach rechts)

© Matthias Kern (IKZ),
Adobe Stock, © Matthias Kern (IKZ),
Adobe Stock,
© ronaldbonss.com / Fraunhofer IWS,
Adobe Stock, Adobe Stock,
Adobe Stock, © Fraunhofer IBP,
Adobe Stock
Innenseiten:

Seite 3: Matis75/Shutterstock

Seite 5: © Fraunhofer IKTS

Seite 7: © ronaldbonss.com / Fraunhofer IWS

Seite 8/9 (von links nach rechts):

© Fraunhofer IBP,
Adobe Stock,
Adobe Stock,
© Hüttentechnische Vereinigung der Deutschen Glasindustrie HVG